

## DEMANDA DE AGUA Y AGRICULTURA EN EL VALLE DEL EBRO\*

JULIO SÁNCHEZ

ROSA DUARTE

Universidad de Zaragoza

La agricultura es el principal consumidor de agua en el Valle del Ebro. La excesiva presión que en los últimos años sufre este recurso, junto a la necesidad de racionalizar su uso, hace imprescindible el conocimiento de las curvas de demanda de agua para la agricultura y de sus elasticidades. El trabajo intenta obtener estas curvas para el Valle del Ebro y cinco de sus regiones, apoyándose en la renta diferencial que supone el uso del regadío. Los resultados muestran la existencia de 7 tramos diferenciados en las curvas de demanda. Se revela también la existencia de fuertes diferencias entre las regiones y la necesidad de una modernización urgente de los regadíos asociados a cerca del 50% del consumo total.

*Palabras clave:* demanda de agua, renta diferencial, elasticidad, regadío, eficiencia de uso.

*Clasificación JEL:* Q21.

España es un país caracterizado por fuertes desequilibrios hídricos y económicos. Tradicionalmente la mitad norte, más rica, se ha considerado una zona excedentaria de agua mientras que el sur, con fuertes sequías periódicas, se ha dibujado como la España seca y pobre. Estos desequilibrios se reproducen también en las áreas consideradas *ricas* en agua. Así, en el Valle del Ebro podemos encontrar zonas fértiles, con abundancia de agua y alta renta, junto a otras en que la severidad del clima produce características climáticas y poblacionales casi desérticas.

Esta situación, junto a las expectativas económicas asociadas al uso del agua y al alto coste de las inversiones necesarias, ha llevado a la revisión del tradicional modelo de gestión del agua, basado en la satisfacción por parte del Estado de toda la demanda existente a precio nulo o casi nulo [ver, por ejemplo, Aguilera Klink (1999), Díaz-Martá (1999) y Naredo y Gascó (1994)]. Puesto que la disponibilidad de agua es relativamente fija, se quiere racionalizar su uso y consumo<sup>1</sup> me-

---

(\*) Agradecemos los comentarios recibidos de un evaluador anónimo, que ayudaron a mejorar substancialmente una versión previa. Queremos igualmente hacer constar nuestro agradecimiento a Josefina Cabeza por su colaboración para el tratamiento informático de los datos.

(1) Aunque es frecuente que ambos términos se usen como sinónimos, son muy diferentes. Del agua usada, una parte retorna a los cauces generalmente con mayor contaminación. Como consu-

diante la introducción de un nuevo marco legal y tecnológico: nuevas tecnologías, mercado del agua, restricciones al uso, limitaciones de la contaminación de los retornos, participación privada en las inversiones, etc. Se espera que todas estas medidas contribuyan al ahorro, a la reutilización y al aumento de la eficiencia de uso.

La no existencia de mercados para el agua, salvo raras y limitadas experiencias, la financiación sistemática, hasta ahora, por parte del Estado, y las costumbres fuertemente arraigadas en la idiosincrasia de los agricultores han hecho que los pagos o tarifas abonados por el agua no tuvieran apenas relación con la disposición al pago, con el volumen consumido o con los impactos medioambientales. Únicamente en los abastecimientos urbanos se asume, como normal, el pago de unos precios altos por el agua; pero aun en este caso, las tarifas están fijadas esencialmente por los costes de mantenimiento y de servicio y no por las inversiones realizadas. La Ley de aguas de 1985 y el Reglamento de Dominio Público Hidráulico de 1986 han cambiado algo esta situación, al fijar que los usuarios deben financiar a través de tarifas y cánones una parte de las inversiones; desgraciadamente, la rémora es muy fuerte y los resultados están muy lejos del espíritu de la Ley<sup>2</sup>.

No es nuestro objetivo discutir si la oferta y demanda de agua debe regularse mediante los mecanismos del mercado. No obstante, es importante investigar el comportamiento de los agricultores, los mayores consumidores de agua, como demandantes de agua y obtener la relación entre consumo de agua y precio. La construcción de curvas de demanda en la Agricultura y la estimación de las elasticidades son un paso necesario en esa línea.

Para obtener curvas de demanda empíricas se han desarrollado diversos métodos, unos directos y otros indirectos, que tratan de estimar la disposición al pago por el uso del agua. Los primeros se basan en la realización de encuestas a los agricultores sobre cuánto estaría dispuesto a pagar como máximo [ver Sumpsi, Garrido *et al.* (1998)]. Estos métodos son costosos y chocan, con frecuencia, con la idiosincrasia del propio agricultor y su nivel de información sobre los mercados. El agricultor siente que el agua es suya o que, al menos, pertenece a los que viven del campo. Defiende que debe ser el Estado quién financie las obras, al igual que financia las carreteras o los servicios de la Administración. Además el pequeño y medio agricultor sólo conoce bien los rendimientos de un pequeño conjunto de cultivos, los usuales de su zona, y conoce poco o no controla los mecanismos de distribución. En resumen, los métodos directos, a pesar de su potencialidad informativa, frecuentemente obtienen resultados deficientes.

Los métodos indirectos hallan el precio (o disposición al pago) a través del estudio de otras variables con las que éste guarda relación, rendimientos de las producciones, inversiones privadas para la disposición de agua y de hipótesis *ad hoc* que respondan a conductas razonables.

---

mo sólo podemos tomar la parte desaparecida pero no la retornada, consumo es uso menos retorno. Podemos hablar también de un consumo degradativo, siendo éste la parte de agua que es eliminada para otros usos por la contaminación incorporada. Sobre esta problemática puede verse el excelente trabajo de Bielsa (1998) y Sánchez Chóliz y Bielsa (1999).

(2) En Sánchez Chóliz (1998) puede verse una modelización, para el caso de una gran inversión en regadío, de los efectos de estas leyes en las tarifas y cánones a pagar.

Una revisión detallada de los métodos de valoración de recursos naturales y de estimación de la demanda de agua puede verse en Young (1996).

El método que aplicamos en el trabajo corresponde al grupo de los indirectos; se basa en el incremento de la renta, que para cada cultivo, supone el uso del regadío frente al seco; a este incremento lo designaremos a partir de ahora como renta diferencial. Suponemos también que la disposición al pago por el agua crece con esta renta diferencial y más rápidamente que esta y que nunca puede superarla.

Los criterios aplicados generan para cada cultivo de una zona un par de valores, consumo de agua en el cultivo y disposición al pago o precio; al ordenar estos pares por los precios y acumular el agua obtenemos la curva de demanda agregada de agua de la zona. Desdichadamente, esta demanda no es continua; como los precios usados son precios medios, lo que tenemos realmente es una demanda discontinua de tipo escalera. Un problema, que intentamos resolver, es la conversión de esta demanda en una función de demanda continua y que informe bien sobre los efectos de los cambios en los precios.

La solución usada se basa en el criterio de minimizar, en el proceso de conversión a continua, los cambios en el excedente del demandante a precio cero para cada cultivo. La motivación es clara, no hay razones que justifiquen, por una cuestión formal o por una mejor manipulación matemática, la alteración de ese excedente, que es muy significativo económicamente.

Otro problema con que nos enfrentamos es la conveniencia de tener una expresión matemática que nos relacione precio y cantidades. Normalmente no podemos esperar que la función resultante tenga una expresión explícita sencilla. El teorema de la función implícita nos asegura, bajo ciertas condiciones, la existencia de una función, pero en general esa función no puede ponerse en forma explícita (en términos coloquiales, no puede despejarse). No obstante, el problema puede resolverse actualmente con *Mathematica*, que permite cuando la función existe, representarla gráficamente y obtener el valor que toma para cualquier valor de la variable independiente. En el anexo se dan los programas, en *Mathematica 3.0*, que permiten hacerlo.

De acuerdo con los objetivos señalados, el trabajo se estructura como sigue. En el apartado 1 se describen las hipótesis usadas para determinar las disposiciones al pago, así como las bases de datos utilizadas. En los apartados 2 y 3, partiendo de los pares (consumo por cultivo, disposición al pago), se desarrolla el proceso que da lugar a las curvas de demanda y elasticidad para el Valle del Ebro. Se presentan además sus características más relevantes. El punto 4 extiende lo anterior a cinco regiones del Valle, a saber, Aragón, Navarra, La Rioja, Lérida y Tarragona. El 5 es un breve resumen de las conclusiones principales. En el Anexo están los programas informáticos y la demostración de un teorema utilizado.

## 1. HIPÓTESIS DE TRABAJO Y DATOS

El regadío supone el uso de una tecnología de cultivo diferente a la usada para el seco, cambian los inputs unitarios, cambian los rendimientos y son posibles otras producciones. Podemos aceptar, obviando cuestiones teóricas, que la

tecnología del regadío es superior. Este es nuestro punto de partida, que nos lleva a suponer que la disposición al pago estará fuertemente ligada con la renta adicional que permite obtener el regadío.

Para estimar esta renta diferencial nos apoyaremos en la información disponible para cada producto  $i$  y para cada región  $k$ : superficies sembradas, rendimientos por hectárea (tanto en regadío como en seco), precios de venta y uso de agua por hectárea (suponemos una eficiencia del 45%); estos datos los indicamos con  $SR_{ik}$ ,  $SS_{ik}$ ,  $RR_{ik}$ ,  $RS_{ik}$ ,  $P_i$  y  $c_{ik}$ . Apoyándonos en esta información, la renta diferencial bruta por unidad de agua está dada por

$$r_{ik} = \frac{RR_{ik} * P_i - \frac{\sum_{j=1}^n (SS_{jk} * RS_{jk} * P_j)}{\sum_{j=1}^n SS_{jk}}}{c_{ik}} ;$$

donde los sumatorios se extienden a todos los cultivos<sup>3</sup>. El cociente del numerador es la rentabilidad media por hectárea de seco. El numerador es la renta diferencial bruta por hectárea y, al dividirla por  $c_{ik}$ , obtenemos la renta diferencial bruta por unidad de agua del producto correspondiente.

Como hipótesis de trabajo se asume que la disposición al pago está dada por  $p = a + r + b r^2$ , donde  $r$  es la renta diferencial  $r_{ik}$ . Este criterio recoge bien una de las propiedades, que consideramos básicas de la disposición al pago, que crece con la renta. Más aún, al estar definida como una función cuadrática, el porcentaje de renta diferencial pagado por el agua aumenta con la renta, lo que es una hipótesis también razonable.

En los cálculos que vamos a llevar a cabo suponemos que  $a$  es 0,15. El parámetro  $b$  se ajusta de forma que la totalidad del excedente del demandante a precio cero, en el Valle del Ebro, sea el 20% de la renta bruta total. El valor resultante de  $b$  es 0,000824. Esto hace que las disposiciones al pago varíen entre el 15,03% y el 29,24% de la renta diferencial bruta. Las condiciones usadas para fijar  $a$  y  $b$ , aunque razonables como veremos, son algo arbitrarias y son mejorables con un estudio directo. Pero al hacerlo, aunque con un tamaño mucho menor, nos enfrentaremos a problemas semejantes a los ya comentados de los métodos directos. Además los resultados cualitativos, en los que estamos preferentemente interesados, no cambian por cambios pequeños de  $a$  y  $b$ .

Los costes medios de los regadíos aragoneses fueron estimados por Omedas (1994, pag. 64) en el 6.74% de la producción final agraria (16.851 ptas. por ha, para una producción media de 250.000 ptas. de 1991), lo que supone, para una dotación de 7000 m<sup>3</sup>/ha, un pago de 2,41 ptas./m<sup>3</sup>. Si pensamos que la productividad media del seco es la cuarta o quinta parte de la del regadío, podemos decir

(3) En la práctica hemos considerado dos medias de rentabilidad del seco: una general, con todos los cultivos, y otra con los cultivos de cereal, girasol y colza, que hemos aplicado a estos tres cultivos. Pretendemos de esta forma adaptarnos mejor a la realidad productiva.

que los riegos actuales en Aragón pagan sobre el 8,5% de la renta diferencial. El mismo autor estima en el 14% (35.000 ptas./ha) los costes de regulación y gestión en los nuevos regadíos aragoneses, lo que supone sobre un 18% de la renta diferencial y un coste de 5 ptas./m<sup>3</sup>. Bajo estos costes los regadíos aragoneses son sistemáticamente pedidos, luego es razonable aceptar que la disposición mínima al pago está alrededor del 15%, lo que determina el valor de 0,15 del parámetro a.

Igualmente, cuando los costes medios estimados de estos nuevos regadíos están en el 18% de la renta diferencial, es prudente asumir como disposición media al pago la cifra del 20%, lo que lleva a pagos máximos alrededor del 30%. Al hacerlo aseguramos que las disposiciones al pago son capaces de asumir los costes estimados para Aragón, que son muy parecidos a los del Valle del Ebro. Asumir el 20% supone ahora un pago medio por m<sup>3</sup> de agua es de unas 7 pesetas (7,41 ptas. para nuestras estimaciones del Valle del Ebro y 6,89 para Aragón)<sup>4</sup>.

El paso de la renta diferencial bruta a la neta de una forma exacta es difícil si no se hace un estudio pormenorizado de los datos, no obstante la información disponible nos dice que la renta neta se mueve alrededor del 60% de la bruta; por ejemplo, en Ibercaja (1995), página 278, encontramos que VAB p.f./PB p.f.= 0,60 y en los Anuarios de Estadística Agraria (MAPA, 1994) puede verse que las ratios VAB p.f./PB p.f. van de 0,56 a 0,82<sup>5</sup>. Asumido este 60%, la mitad más o menos se dedicará al pago del trabajo, quedando el resto para el pago del agua y de otros posibles inputs. Asumir en consecuencia que los porcentajes pagados por las rentas diferenciales más altas son alrededor del 30% es razonable, ya que supone que estos productos, que son los más rentables pagan por el agua toda la renta diferencial que les supone. La aceptación del pago máximo del 30%, unido al pago medio del 20%, nos lleva en el Valle a un pago mínimo del 15%, que justifica de nuevo el valor dado al parámetro a.

Los criterios anteriores se aplican a la Agricultura del Valle del Ebro, que identificamos con las regiones de Aragón, Navarra, La Rioja y las provincias catalanas de Lérida y Tarragona. No se considera el País Vasco, pero su omisión no condiciona los resultados obtenidos. Para estas zonas se estudian las demandas de agua de 33 cultivos, que cubren aproximadamente el 95% de la superficie de cultivo, algunos de ellos solo se cultivan en secano en alguna de las regiones. Estos cultivos, agrupados por familias, son *Cereales*: trigo, cebada, avena, centeno, maíz y arroz; *Cultivos industriales*: alfalfa, veza, girasol y colza; *Hortalizas y tubérculos*: col, coliflor, cebolla, ajo, pimiento, tomate, alcachofa, lechuga, espárrago, melón, judías, guisantes, acelga, escarola y patata; *Frutas*: manzano, peral, melocotón, ciruelo y cerezo; y *Resto*: almendro, viña y olivo.

El trabajo se realiza para 1992, siendo la actualización para años posteriores sencilla, basta sustituir los datos de partida: hectáreas, rendimientos (sí estos varían en el tiempo), precios y usos de agua. Las estimaciones de consumo se han

(4) Los costes medios, de captación y regulación del agua en la agricultura española, son estimados por Sumpsi (1994), página 73, para dos escenarios posibles, en 5,75 ptas/m<sup>3</sup> y 10 ptas/m<sup>3</sup>.

(5) Las ratios son menores si se descuentan las subvenciones, en Ibercaja (1995), pag. 278, puede verse que VAB p.m./PB p.f.=0,42.

hallado para una eficiencia de uso del 45%. La eficiencia media en Aragón, la región con mayor extensión en el Valle del Ebro, fue estimada por Tabuena (1994) en un 43,6%. Estudios posteriores han confirmado que la eficiencia en la Cuenca Media está por debajo del 50% (Bielsa, 1998).

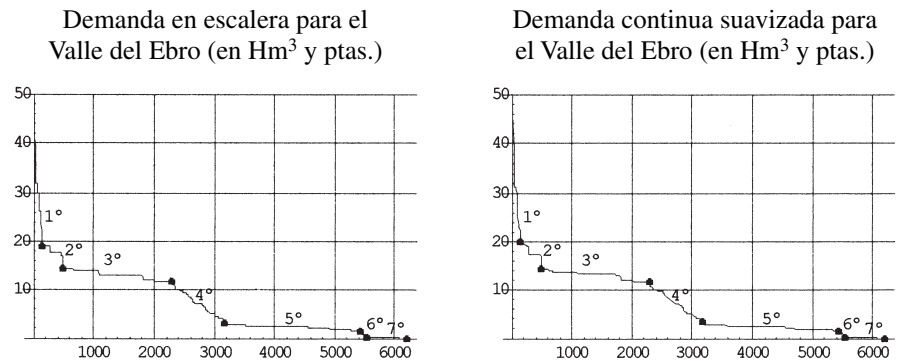
Disponemos para 1992 de un precio unitario para cada cultivo (ptas./kg), obtenido de MAPA (1994), que aplicamos a todas las zonas, tanto a la producción en secano como en regadío. La mejora de la base informativa mejoraría la calidad de los resultados pero no muy significativamente.

Aunque no disponemos de dotaciones de agua para todos los cultivos de la muestra, sí la conocemos para los distintos cereales, cultivos industriales, hortalizas y algunos frutales [Tabuena (1994)]. El procedimiento seguido para determinar la dotación para cada cultivo ha sido aplicar, cuando no se tenía dotación específica, la del grupo correspondiente.

## 2. CURVAS DE DEMANDA DEL VALLE DEL EBRO

Tal como se ha explicado en el apartado anterior, la información disponible nos permite tener 159 pares de valores (consumo, precio) para la región Valle del Ebro; son 159 y no 165 al no cultivarse algunos productos en regadío en algunas zonas. Si ordenamos los pares en forma decreciente según las disposiciones al pago y acumulamos el agua consumida, tendremos dos series de valores cuya representación nos permite obtener la primera curva de demanda. En ella asumimos que los precios son precios medios y los mantenemos constantes para toda el agua requerida por cada cultivo. La curva así construida es de tipo escalera y puede verse en el gráfico 1.

Gráfico 1



Los puntos, en ambos casos, indican las separaciones de los tramos y el ordinal el tramo.

El programa en *Mathematica 3.0* usado para su representación puede verse en apartado A.1 del Anexo. Una simple orden, `fde[q]`, nos da el precio para cualquier cantidad de agua  $q$ . Las disposiciones al pago de los distintos productos pueden verse en A.3 del Anexo.

La curva obtenida tiene, en general, tantos puntos de discontinuidad como cultivos. Para convertirla en continua hemos utilizado dos procesos de forma sucesiva, ambos justificados porque no alteran significativamente el excedente del demandante a precio cero para cada cultivo.

El primer proceso, que es el más relevante, tiene su fundamento en el teorema que puede verse en el apartado A.5 del Anexo. El proceso aplicado, que es iterativo, arranca de suponer que el precio es cero para la máxima oferta de agua; sustituye cada tramo horizontal por un tramo lineal que no supera el precio del tramo siguiente; cada paso parte del punto anterior obtenido, asegurando así la continuidad; si es posible, el tramo lineal pasa por el punto medio del tramo horizontal correspondiente; si no lo es, el tramo lineal se apoya en el primer punto del tramo anterior. Este proceso iterativo, como se prueba en el teorema de A.5, minimiza el cambio de excedente del demandante por cultivo y, bajo ciertas condiciones, la suma  $E$ , para todos los cultivos, de los cambios del excedente en valor absoluto es cero. En el caso del Valle del Ebro, el valor obtenido de  $E$  es el 0,53% del excedente total, realmente pequeño frente a lo que podía esperarse.

Este proceso iterativo, aunque elimina totalmente las discontinuidades, mantiene en ocasiones tramos horizontales, que corresponden con cultivos de elasticidades muy altas. Como los tramos horizontales darían elasticidades infinitas, hemos aplicado un método de suavización de la curva consistente en sustituir  $p_n$  por un nuevo  $\bar{p}_n = \alpha p_{n+1} + (1-\alpha) p_{n-1}$ , usando el  $\alpha$  que haga mínimo el valor  $E$ . Cuando hemos aplicado este proceso de suavización a la serie resultante del proceso anterior, el  $\alpha$  óptimo fue  $\alpha = 0,45$ , siendo el  $E$  conjunto de ambos procesos el 1,19% del excedente total, lo que es un excelente resultado.

La curva resultante puede verse en el gráfico 1. Su representación está hecha con el programa en *Mathematica 3.0* que puede verse en A.2, el programa es muy parecido al usado para la representación en escalera.

### 2.1. Características más relevantes de la curva de demanda

Las curvas anteriores nos permiten obtener importante información sobre la demanda de agua en el Valle del Ebro. Distinguimos la existencia de siete tramos, que se diferencian esencialmente por tener pendientes medias distintas. Los puntos que los separan, obtenidos de la demanda en escalera, son (0; 50,46), (145,06; 18,97), (492,12; 14,27), (2284,94; 11,85), (3177,93; 3,01), (5424,258; 1,61), (5549,64; 0,17) y (6207,55; 0).

Como puede verse en A.3, las capacidades de pago de cada cultivo cambian con la región, es normal encontrar un mismo cultivo en dos tramos consecutivos, siendo a veces la dispersión mayor. Para caracterizar el producto nos podemos fijar en el precio más alto y en el precio típico (el intermedio) que puede pagar por el agua. La clasificación de los cultivos, de acuerdo con este criterio, puede verse en el apartado A.4 del Anexo.



Los tres primeros tramos corresponden a cultivos de frutales y hortalizas de alta rentabilidad, son cultivos intensivos en agua (judías, tomates, melón, melocotón, pimiento,...); en el tercero aparece también un cultivo industrial (alfalfa), muy consumidor de agua pero muy rentable. En el cuarto aparecen frutales y hortalizas de baja rentabilidad, tubérculos y viña. El quinto tramo está caracterizado por los cereales trigo, arroz y maíz. El sexto contiene cereales con menos capacidad de pago por el agua, como la cebada, y en el séptimo el centeno, la colza y el girasol.

También por la disposición al pago podemos caracterizar los 7 tramos.

1. Más de 18,97 ptas./m<sup>3</sup>. En este tramo están todos los cultivos de judías, ajo, tomate, pimiento, escarola y manzano. Este tramo puede subdividirse a su vez en dos, el subtramo superior son los cultivos que pueden pagar incluso más de 30 ptas./m<sup>3</sup> (judías, ajos y tomates). El consumo total de agua del tramo es de 145,06 Hm<sup>3</sup>. La caída del precio es muy rápida, existiendo una gran diferencia entre el precio más alto, 50,46 y el pimiento de Tarragona que paga únicamente 20,69 ptas./m<sup>3</sup>.

2. Entre 18,97 y 14,27. Los cultivos son similares a los del primer tramo, hortalizas y frutales. La diferencia principal con el tramo anterior es la menor pendiente de la curva y las menores disposiciones al pago. El consumo del tramo es de 347 Hm<sup>3</sup>.

3. Entre 14,27 y 11,85 ptas./m<sup>3</sup>. En este tercer tramo están los frutales y hortalizas de rentabilidad media, pero también aparece el cultivo de la alfalfa. Para tres regiones la alfalfa pertenece a este grupo, siendo la rentabilidad de esta en Tarragona y La Rioja algo menor, estando para estas regiones en el siguiente grupo. La pendiente, la caída de los precios es mucho más lenta que en los tramos anteriores. El consumo total de agua aumenta hasta los 2.284,98 Hm<sup>3</sup>, el 36,81% del total.

4. Entre 11,85 y 3,01 ptas./m<sup>3</sup>. La pendiente de la curva de demanda es mayor que en el tramo anterior, siendo en media parecida a la del segundo. En este intervalo todavía aparecen algunas hortalizas, cebolla, alcachofa, guisantes y coliflor, y algún frutal, cerezo en La Rioja o ciruelo en Navarra. También están la viña, la patata y la veza. El consumo del tramo es de 893,01 Hm<sup>3</sup>, que se pagan a un precio medio de 7,21 ptas./m<sup>3</sup>. Los precios que pueden pagarse por el agua en los cultivos de este tramo están siempre por encima de los pagos actuales y en media pueden pagar más que los costes previstos para los nuevos regadíos. Esto nos demuestra que los productos de este tramo y de los anteriores pueden ser el núcleo de una agricultura modernizada, que asume el coste del agua y que haga un uso eficiente de ésta.

5. Entre 3,01 y 1,61 ptas./m<sup>3</sup>. En este intervalo se encuentran los cereales más rentables por m<sup>3</sup> de agua, es decir, maíz, trigo y arroz. También pertenece a este tramo la cebada de Aragón. Merece señalarse que en los cuatro cereales, la región con mayor capacidad de pago es Aragón, que puede pagar 2,94 por m<sup>3</sup> de agua para el trigo, mientras Navarra solo puede pagar 1,61 ptas./m<sup>3</sup>. Es curioso también lo que ocurre con el arroz, la mayor capacidad de pago la tiene Aragón con 2,47 ptas./m<sup>3</sup>, mientras en Tarragona, y por tanto en la zona del delta, sólo se pagaría como máximo 1,82 ptas./m<sup>3</sup>.



El precio medio que puede pagarse en el tramo es 2,32 ptas./m<sup>3</sup>, que es aproximadamente el coste actual del agua en el Valle del Ebro, recordar los datos dados por Omedas (1994). Algunos de los cultivos, por ejemplo la cebada de Lérida o el maíz de Tarragona, no pueden pagar ese precio y mucho menos cubrir los costes estimados de los nuevos regadíos. Estos nuevos costes están por encima de la capacidad de pago de todos los cultivos del tramo. Esto es un problema grave porque el consumo total para estos cultivos es de 2.246,33 Hm<sup>3</sup>, el 36,19% del consumo total de la agricultura del Valle. Es cierto que la forma de modelización, olvidando el importante hecho de varias cosechas o varios cultivos sobre la misma tierra, tiende a dar una imagen peor que la real. No obstante, las cifras sugieren la necesidad de una fuerte reconversión productiva y de una modernización de estos regadíos, de forma que la rentabilidad por m<sup>3</sup> sea mucho mayor.

6. Por debajo de las 1,61 ptas./m<sup>3</sup>. Hay dos tramos en esta situación. El sexto, que solo consume 125,38 Hm<sup>3</sup>, incluye los restantes cereales y algunos frutos como la almendra y el olivo. Los datos de estos dos últimos cultivos pueden ser engañosos y ser debidos al peso que tienen las técnicas tradicionales de cultivo; experiencias recientes muestran la posibilidad de una gran rentabilidad del olivo y el almendro en regadío. El tramo séptimo contiene los productos de renta diferencial prácticamente nula, están entre ellos el centeno, la colza o el girasol. Estos cultivos deberían desaparecer del regadío; no obstante, no puede olvidarse el papel perverso que han podido jugar las subvenciones.

### 3. CÁLCULO DE LAS ELASTICIDADES PRECIO DE LA DEMANDA

Una vez construidas las curvas de demanda, podemos plantearnos cuál es la variación relativa en la cantidad de agua requerida ante cambios porcentuales en los precios. Dicha variación puede medirse mediante la elasticidad precio de la demanda, elasticidad que definimos teóricamente como  $e = -\frac{\partial q/p}{\partial p/p}$ .

Como conocemos los pares de valores (q,p) de las curvas de demanda, podríamos calcular los pares (ln q, ln p) y construir una curva de elasticidad usando el mismo procedimiento hecho para la demanda. Aquí no obstante, vamos a usar un proceso que nos permite obtener conjuntamente la función de demanda y la elasticidad; calculada la función de demanda p(q), estimamos la elasticidad como  $\frac{p(q)}{q} \frac{\Delta q}{\Delta p}$  para un incremento fijo de q, que se elige suficientemente pequeño para la función resultante sea prácticamente la función elasticidad. Como puede verse, el programa informático de A.2 sirve tanto para representar la curva de demanda como la elasticidad, pudiéndose calcular los valores de los precios y elasticidades para cualquier cantidad de agua q con las ordenes `dddeel[q]` y `elastdeel[q]`.

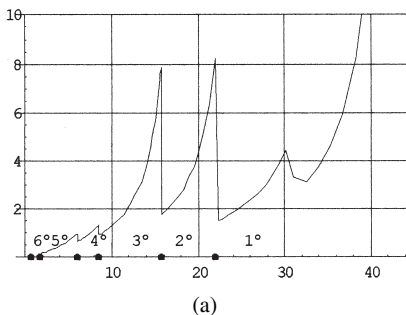
Aunque el problema teóricamente está resuelto, el tipo de datos que manejamos, muchos cultivos con precios medios y mínima manipulación para lograr la continuidad, lleva a que existan muchos saltos en las funciones de elasticidad, lo que hace difícil la interpretación. La solución es sencilla, cuanto más agregamos menos saltos tenemos y más intuitivas son las curvas de elasticidad.

Buscando la combinación óptima entre buenas curvas y mínima agregación, lo que hemos hecho es obtener dos curvas de elasticidad. En la de máxima agregación se agregan los cultivos de los tramos 2, 3, 4, 5, 6 y 7 y de los dos subtramos del 1,

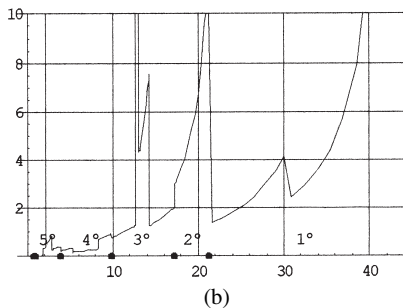
basándonos en que cada una de estas zonas revela una pendiente en la curva de demanda similar. En la segunda, respetando los tramos y no partiendo ningún cultivo, se agrupan cultivos de precios consecutivos que consuman sobre el 5% de la demanda total. Ambas agregaciones dan lugar a conjuntos  $\{(q_i, p_i)\}$  que permiten definir curvas de demanda y de elasticidad; primeramente se obtienen por un proceso iterativo y por suavización las curvas de demanda, después, calculando  $\frac{p(q)}{q} \cdot \frac{\Delta q}{\Delta p}$ , se obtienen las elasticidades. Los resultados obtenidos para el Valle del Ebro se muestran en el gráfico 2, donde los puntos señalan el paso de un tramo a otro.

Gráfico 2

Elasticidad precio del agua en el Valle (con máxima agregación)



Elasticidad precio del agua en el Valle (con agregación parcial)



Los puntos, en ambos casos, indican las separaciones de los tramos y el ordinal el tramo.

La primera conclusión es que la elasticidad va creciendo con el precio, aunque tiene caídas repentinas que están asociadas muchas veces con el cambio de tramo. Esto se ve especialmente en el gráfico 2 (a), donde puede comprobarse que las caídas corresponden con los cambios de tramos y con el paso de un subtramo a otro en el primero. Para los tramos 6.º y 7.º la elasticidad es muy baja, cercana a cero.

El gráfico 2 (b) permite complementar estas afirmaciones. El primer tramo tiene elasticidades similares en ambas agregaciones, siendo estas siempre superiores a 1. El cambio entre subtramos se produce para una elasticidad cercana a 4.

El segundo tramo tiene una elasticidad alta y creciente con valores cercanos a 2 o superiores. El tramo 3 tiene valores entre 1 y 8 aproximadamente, según el gráfico (a). No obstante, el gráfico (b) revela una zona central con elasticidad muy elevada, son cultivos en los que el precio cambia muy poco relativamente frente al agua usada. De los 1.120,29 Hm<sup>3</sup> de ese salto, 1.113,55 Hm<sup>3</sup> son consumidos por los cultivos de alfalfa en Lérida y Aragón. Estos cultivos son grandes consumidores de agua y mantienen diferencias de precio muy pequeñas respecto a los productos con precios próximos. El gráfico (b) muestra que la elasticidad, salvo para esos cultivos de alfalfa, está entre 1 y 2 aproximadamente. El quinto tramo presenta una conducta análoga, pero en este caso el cultivo afectado es la cebada de Aragón. En los tramos 4.º, 5.º, 6.º y 7.º las elasticidades son, en general, inferiores

a 1 y para los dos últimos cercanas a cero. Estos bajos valores son confirmados con ambas agregaciones y muestran que, para los consumos menos eficientes en el uso del agua, una política, exclusivamente de precios, puede ser excesivamente rígida.

Para finalizar esta revisión de los valores obtenidos de la elasticidad, nos podemos preguntar, ¿hasta que punto dependen los resultados de las hipótesis hechas sobre la disposición al pago? Suponíamos que  $p = a r + ab r^2$ , donde  $r$  era la renta diferencial. Como

$$e = - \frac{\partial q/q}{\partial p/p} = - \frac{a r + ab r^2}{q} \frac{\partial q}{\partial (a r + ab r^2)} = - \frac{r(1+br)}{q} \frac{1}{(1+2br)} \frac{\partial r}{\partial q} =$$

$$= - \frac{r}{q} \frac{\partial q}{\partial r} \left(1 - \frac{br}{(1+2br)}\right) = E_r \left(1 - \frac{br}{(1+2br)}\right),$$

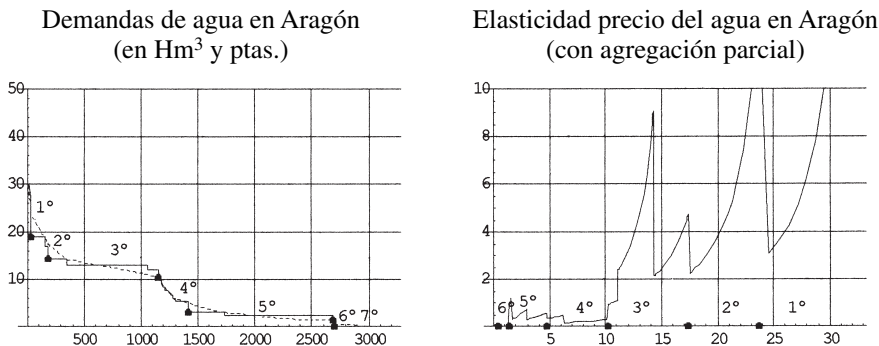
donde  $E_r$  es la elasticidad renta  $r$ , podemos afirmar que las elasticidades halladas no dependen del nivel mínimo de renta diferencial seleccionado, aunque si lo hace del factor cuadrático que hemos incorporado en la definición de esa disposición. Si este factor fuera cero, la elasticidad obtenida sería similar a la elasticidad renta  $E_r$ . Al no ser  $b$  cero, la elasticidad precio de la demanda es inferior a  $E_r$ , aumentando la diferencia relativa al crecer la renta. En nuestro caso, las regiones crecientes de la elasticidad precio se mantienen para un amplio rango de valores de  $b$ , manteniéndose también los saltos característicos de cada tramo y los saltos interiores de los tramos 3 y 5. Ello nos lleva a pensar que podrían obtenerse resultados cualitativos muy parecidos usando directamente las elasticidades renta  $E_r$ .

#### 4. CURVAS DE DEMANDA POR ZONAS

En este apartado vamos a construir las curvas de demanda y elasticidad para Aragón, Navarra, La Rioja, Lérida y Tarragona, de forma separada. El método de construcción es el mismo que antes, sólo que ahora las curvas de cada región se construyen sobre la base de sus 33 cultivos regionales. Los consumos de cada cultivo y las disposiciones al pago coinciden con los usados para el Valle. Obtenemos para cada región 3 curvas, la demanda en escalera, la demanda con agregación parcial y la elasticidad con agregación parcial. Las curvas pueden verse en los gráficos 3, 4, 5, 6 y 7. La información cuantitativa se resume en el cuadro 1, donde pueden verse los consumos totales, su fragmentación en tramos, los pesos relativos de cada tramo y los precios que los separan.

Como puede verse en el gráfico 3 y en el cuadro 1, en Aragón no hay parte alta del primer tramo, luego no se cultivan los productos con uso del agua más eficiente económicamente. También es prácticamente inexistente el tramo sexto, de cereales menos rentables. El grueso del consumo se hace en el tercer tramo, con 966,69 Hm<sup>3</sup>, el 30,22% del total, y en el quinto, con 1.270,14 Hm<sup>3</sup>, el 39,70%. Podemos decir que el regadío rentable en Aragón está centrado en frutas y hortalizas de rentabilidad media, alfalfa y los cereales maíz, trigo, cebada y arroz, para los que tiene las mayores capacidades de pago de todo el valle. Existen también

Gráfico 3



En el gráfico de demandas, la línea continua es la demanda en escalera y la discontinua la demanda continua suavizada. Los puntos, en ambos casos, indican las separaciones de los tramos y el ordinal el tramo.

490,56 Hm<sup>3</sup> en el ultimo tramo con una rentabilidad prácticamente nula, son regadíos cuya transformación debería plantearse seriamente.

Las elasticidades en Aragón son crecientes y elevadas (mayores que 2) para precios superiores a 12 ptas. Por el contrario, son inferiores a 1 hasta las 10 pesetas, esto es, en los tramos 4, 5, 6 y 7. En ambas zonas algunos de los saltos corresponden con los cambios de tramo.

En Navarra, ver gráfico 4 y cuadro 1, es muy relevante el primer tramo, que representa el 6,70% del consumo frente al 2,33% del Valle. Es muy poco importante el tramo 2 y concentra su consumo en el 4 y 5, siendo sus cultivos principales en estos tramos lechuga, cebolla, espárrago, pimiento, alcachofa, cerezo, ciruelo, viña, patata y maíz, esto es, una serie de productos de huerta que surten el mercado diario o las industrias agroalimentarias.

La elasticidad en el primer tramo, esto es de 20 pesetas en adelante, es estrictamente creciente. Entre 15 y 19 pesetas la elasticidad es cercana a cero, corresponde al tramo 2 que representa solo el 0,19% del consumo de la región. Entre 3 y 15 pesetas, son los tramos 3 y 4, es creciente aunque presenta dos zonas en que la elasticidad se hace muy grande, corresponden a los cultivos de perales y alfalfa. El pico inferior, entre 1,5 y 3 pesetas es el tramo 5.

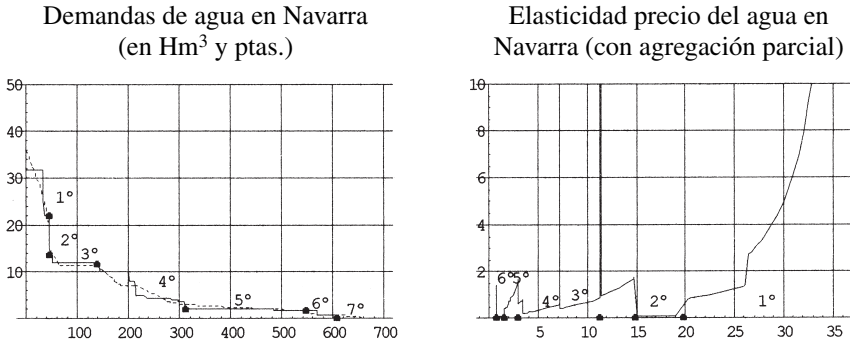
En Tarragona, ver gráfico 5 y cuadro 1, lo más destacado es el extenso tramo 5, que consume 525,81 Hm<sup>3</sup>, el 64,31% del total, y la escasa relevancia del 2 y 3; este último es el 3,46% del consumo frente al 28,88% del Valle. El cultivo dominante en el tramo 5 es el arroz, con 339,76 Hm<sup>3</sup> de consumo. Su capacidad de pago para el arroz es inferior a la aragonesa, otro gran consumidor para este cultivo. En su favor tiene que es usuario final y que no compromete otros usos posteriores. Otro aspecto a señalar es su 4,66% del primer tramo, debido a la producción de cultivos de consumo directo para el mercado cercano de Barcelona y para los turistas.

Cuadro 1

	Tramo	1.º a	1.º b	2.º	3.º	4.º	5.º	6.º	7.º	Total
Valle Ebro	Límite superior	58,54	145,06	492,12	2.284,98	3.177,93	5.424,26	5.549,64	6.207,55	
	Consumo tramo	58,54	86,52	347,06	1.792,86	892,94	2.246,33	125,38	657,91	6.207,55
	% de consumo	0,94	1,39	5,59	28,88	14,38	36,19	2,02	10,60	100,00
	Precio inferior*	30,80	21,22	17,15	9,78	3,88	0,87	0,71	0,00	
Aragón	Límite superior	0,00	37,32	186,39	1.153,08	1.419,65	2.689,79	2.708,74	3.199,30	
	Consumo tramo	0,00	37,32	149,07	966,69	266,57	1.270,14	18,95	490,56	3.199,30
	% de consumo	0,00	1,17	4,66	30,22	8,33	39,70	0,59	15,33	100,00
	Precio inferior*	0,00	23,75	17,43	10,16	4,8	1,37	0,36	0,00	
Navarra	Límite superior	33,14	44,99	46,29	140,12	310,23	546,40	609,40	671,30	
	Consumo tramo	33,14	11,85	1,30	93,84	170,11	236,16	63,01	61,90	671,30
	% de consumo	4,94	1,76	0,19	13,98	25,34	35,18	9,39	9,22	100,00
	Precio inferior*	26,41	19,86	14,87	11,32	3,01	1,56	0,74	0,00	
Tarragona	Límite superior	8,58	26,77	29,95	49,81	156,68	525,81	532,14	574,01	
	Consumo tramo	8,58	18,19	3,18	19,86	106,86	369,13	6,33	41,87	574,01
	% de consumo	1,49	3,17	0,55	3,46	18,62	64,31	1,10	7,29	100,00
	Precio inferior*	30,60	19,71	14,98	11,70	2,91	0,85	0,78	0,00	
Lérida	Límite superior	1,63	5,10	196,56	903,67	960,13	1.298,11	1.310,35	1.364,46	
	Consumo tramo	1,63	3,47	191,46	707,11	56,46	337,98	12,24	54,11	1.364,46
	% de consumo	0,12	0,25	14,03	51,82	4,14	24,77	0,90	3,97	100,00
	Precio inferior*	26,57	18,51	14,59	6,10	5,93	0,6	0,6	0,00	
La Rioja	Límite superior	15,18	30,88	32,93	38,29	331,23	364,15	389,01	398,48	
	Consumo tramo	15,18	15,70	2,05	5,36	292,94	32,92	24,85	9,47	398,48
	% de consumo	3,81	3,94	0,51	1,35	73,51	8,26	6,24	2,38	100,00
	Precio inferior*	30,59	23,51	14,05	12,65	3,98	0,96	0,72	0,00	

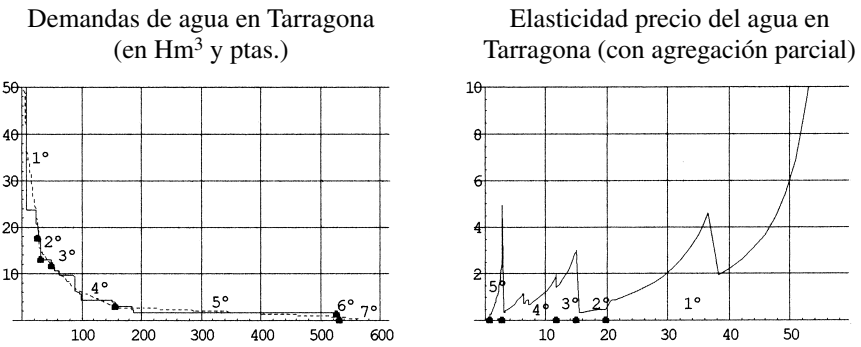
\* Los precios corresponden al valor asignado, en el ajuste continuo con agregación parcial, al límite superior del tramo.

Gráfico 4



En el gráfico de demandas, la línea continua es la demanda en escalera y la discontinua la demanda continua suavizada. Los puntos, en ambos casos, indican las separaciones de los tramos y el ordinal el tramo.

Gráfico 5



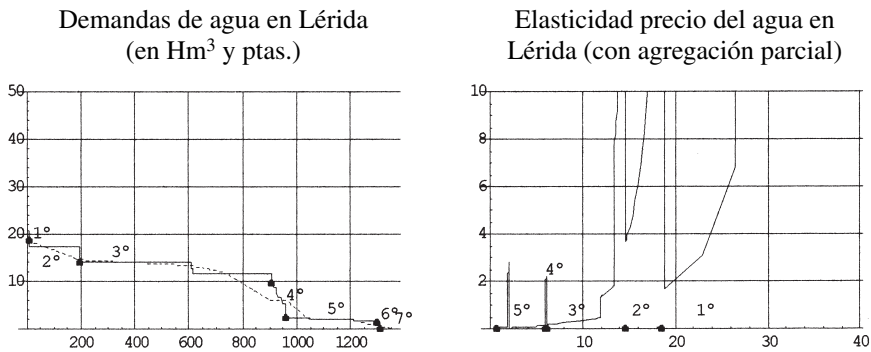
En el gráfico de demandas, la línea continua es la demanda en escalera y la discontinua la demanda continua suavizada. Los puntos, en ambos casos, indican las separaciones de los tramos y el ordinal el tramo.

En su curva de elasticidad se pueden distinguir tres zonas. Hasta 3 pesetas tenemos una elasticidad rápidamente creciente, con un pico asociado con el cultivo de la patata. Entre 3 y 15 ptas. es creciente y corresponde a los tramos 3 y 4. Finalmente, desde 15 pesetas en adelante es creciente; el tramo 2 va de 15 a 20 pesetas, siendo en él la elasticidad inferior a 1; el tramo 1 es de 20 pesetas en adelante y presenta un pico que corresponde al cambio de subtramo.

La demanda de Lérida, representada en el gráfico 6, destaca por su capacidad de pago; 2/3 del agua consumida, 903,67 Hm<sup>3</sup>, el 66,23%, puede pagar más de 11 ptas./m<sup>3</sup>, lo que está claramente por encima de los costes. Sin duda es la agricultura regional con más capacidad de pago por m<sup>3</sup> en el Valle, lo que nos dice que es la región con un uso más económicamente eficiente del agua. Las producciones se centran en los tramos 2, 3 y 5, siendo sus tramos 4 y 6 muy pequeños relativamente.

Su elasticidad es inferior a 0,5 en los tramos 7, 6 y 5. En el tramo 3 es menor que 0,5 hasta las 12 pesetas aproximadamente, creciendo entonces rápidamente hasta más de 10, debido especialmente al cultivo del alfalfa, que presenta una altísima elasticidad. Las dos regiones crecientes del final corresponden a los tramos 2 y 1, en ellas la elasticidad, en general, es superior a 2.

Gráfico 6



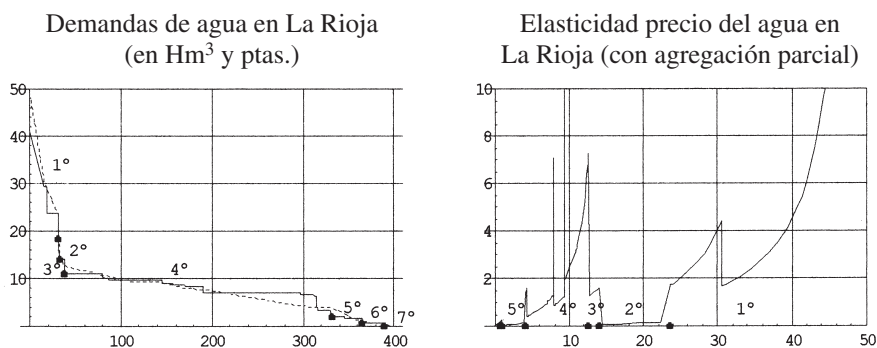
En el gráfico de demandas, la línea continua es la demanda en escalera y la discontinua la demanda continua suavizada. Los puntos, en ambos casos, indican las separaciones de los tramos y el ordinal el tramo.

Para finalizar veamos la demanda de La Rioja recogida en el gráfico 7. Destaca en La Rioja la importancia del primer tramo, que representa el 7,75% del consumo; es la economía con un mayor peso en este tramo, en el Valle es el 2,33%. Prácticamente el resto el consumo se realiza en el tramo 4, el 73,51%, pudiendo pagarse más de 4 pesetas en sus primeros 300 Hm<sup>3</sup>. Sus cultivos típicos en el primer tramo son los ajos y tomates, y en el cuarto coliflor, melocotón, espárrago, alcachofa, manzano, patatas, guisantes y en el límite del tramo la viña.

La elasticidad muestra en el primer tramo, precios superiores a 20 pesetas, la evolución creciente típica con un pico que corresponde al cambio de un subtramo a otro. Presenta también una elasticidad creciente con picos entre 4 y 14 pesetas, esto es en el tercer y cuarto tramo. En el resto, la elasticidad es muy baja, pero corresponde a cultivos de poca relevancia en la zona. En resumen, para los cultivos



Gráfico 7



En el gráfico de demandas, la línea continua es la demanda en escalera y la discontinua la demanda continua suavizada. Los puntos, en ambos casos, indican las separaciones de los tramos y el ordinal el tramo.

importantes se muestra como una economía sensible a los precios, pero con capacidad para asumir precios del agua más altos que los actuales.

## 5. CONCLUSIONES FINALES

En el trabajo se han construido curvas de demanda agregada de agua y de elasticidad para el Valle del Ebro y cinco de sus regiones. Se han obtenido por métodos indirectos a partir de información estadística fácilmente accesible. Esto prueba la posibilidad de obtener estimaciones de la demanda y de la elasticidad, con alto valor informativo y con costes muy bajos.

El principal problema formal, para escapar del mundo discreto de los datos, era la obtención de ajustes continuos que fueran representativos de la realidad y que alteraran lo menos posible la información inicial. La solución tomada, basada esencialmente en el teorema del Anexo, apartado A.5, minimiza los cambios en el excedente del demandante para cada uno de los cultivos. Además, la utilización de *Mathematica 3.0*, hace posible la obtención de gráficas, que dan una visión intuitiva, y la obtención de cualquier valor que se desee de las curvas.

El análisis conjunto del Valle ha permitido comparar la rentabilidad del agua para las distintas regiones, mostrando cómo la rentabilidad está muy asociada con la zona, por razones climáticas, de experiencia y de comercialización. Según las capacidades de pago, se han hallado siete grupos de cultivos que son más o menos relevantes según regiones. En Aragón están en porcentaje de consumo de agua por encima de la media del Valle los tramos 3, 5 y 7; en Navarra los tramos 1, 4 y 6; en Tarragona los tramos 1, 4 y 5; en Lérida los sectores con más peso son el 2 y 3; y, finalmente, La Rioja se centra en el 1, 4 y 6. Estas fuertes diferencias son importantes a la hora de poner en marcha una política sobre el agua; por ejemplo,

una política de precios comunes en el Valle sería demasiado rígida y poco flexible debido a las disparidades regionales en cultivos, peso relativo de estos y capacidades de pago.

Es especialmente preocupante el peso que tienen los sectores 6 y 7, con sus 783,29 Hm<sup>3</sup> de consumo, el 12,62%; su capacidad de pago es inferior a 1,61 ptas./m<sup>3</sup>, lo que exige ya una profunda reconversión de estos cultivos, de las técnicas de riego y de la comercialización. Una subida moderada de los precios del agua en una o dos pesetas (o de los pagos por ella en forma de tarifas o cánones), afectaría a estos cultivos pero probablemente estimularía la transformación y el mejor uso del recurso agua. Esta subida afectaría a Aragón, en sus tramos 5 y 7, a Navarra y La Rioja en su tramo 6 y a Tarragona en el tramo 5. Los cultivos más sensibles serían girasol, colza, trigo, arroz y cebada, siendo Aragón donde estos tres últimos cultivos resistirían más. Por el contrario, los tramos 4 e inferiores, con capacidades de pago de más de tres pesetas, pueden soportar estas subidas y marcan además la vía para una posible reconversión.

Para finalizar, recordemos que ninguna transformación del regadío puede realizarse separada del resto de la actividad productiva. La ganadería y las industrias agroalimentarias son los principales compradores de los productos del regadío; por ello, no puede existir una reforma de éste que no esté unida al desarrollo de esos sectores. Realmente para el agricultor y el mundo rural, tan importante son las inversiones en nuevo regadío, o en mejoras de éste, como las inversiones en agroalimentarias y en ganadería.

## ANEXOS

### A.1 Programa para representar la demanda en escalera

```

de={{ {q1,p1},{q2,p2},...,{qn,pn} }
Xde=Transpose[Sort[de]][[1]];
Yde=Transpose[Sort[de]][[2]];
I2de=Function[x,Select[Xde,#>x &,1][[1]]];
I1de=Function[x,Select[Sort[Xde,Greater],#\[LessEqual]x &,1][[1]]];
Dde=Function[x,Take[Yde,{Part[Position[Xde,I1de[x]],1,1]}][[1]]];
Rde=Function[x,Take[Yde,{Part[Position[Xde,I2de[x]],1,1]}][[1]]];
gde = Function[x, If[x < Xde[[1]], Solve[{a*Xde[[1]] + b-
  Yde[[2]],a*Xde[[2]] + b- Yde[[2]]} == 0,{a, b, c, d}], If[x >
  Xde[[Length[Xde]]], Solve[{a*Xde[[Length[Xde]] - 1]]+ b-
  Yde[[Length[Xde]]], a*Xde[[Length[Xde]]]+ b -
  Yde[[Length[Xde]]]== 0, {a, b, c, d}], Solve[{a*I1de[x]+ b-
  Rde[x],a*I2de[x] + b - Rde[x]}== 0,{a, b, c, d}]]];
fde=Function[x,(gde[x];Part[a*x+b/.gde[x],1]);
grafde=Plot[fde[x],{x,0,6200},PlotRange -> {0,50}, GridLines ->Automatic]

```

A.2 Programa para representar la demanda de tramos lineales y la función elasticidad a partir de un conjunto de pares de puntos

```

deel={ {q1,p1},{q2,p2},...,{qn,pn} }
XXdeel=Transpose[Sort[deel]][[1]];
YYdeel=Transpose[Sort[deel]][[2]];
I2deel=Function[x,Select[XXdeel,#>x &,1][[1]]];
I1deel=Function[x,Select[Sort[XXdeel,Greater],#[LessEqual]x &,1][[1]]];
DDdeel=Function[x,Take[YYdeel,{Part[Position[XXdeel,I1deel[x]],1,1]}][[1]]];
RRdeel=Function[x,Take[YYdeel,{Part[Position[XXdeel,I2deel[x]],1,1]}][[1]]];
ggdeel = Function[x, If[x < XXdeel[[1]], Solve[{a*XXdeel[[1]] +b-
YYdeel[[1]],a*XXdeel[[2]] +b- YYdeel[[2]]]== 0,{a, b, c, d}], If[x >
XXdeel[[Length[XXdeel]]], Solve[{a*XXdeel[[Length[XXdeel] - 1]]+ b-
YYdeel[[Length[XXdeel]-1]], a*XXdeel[[Length[XXdeel]]]+ b -
YYdeel[[Length[XXdeel]]]== 0,{a, b, c, d}], Solve[{a*I1deel[x]+ b-
DDdeel[x],a*I2deel[x] + b - RRdeel[x]== 0,{a, b, c, d}}]];
ffdeel=Function[x,(ggdeel[x];Part[a*x+b/,ggdeel[x],1]);
elastdeel=Function[x,(ffdeel[x]/x)*(2/(ffdeel[x-1]-ffdeel[x+1]))];
grafdeel=Plot[ffdeel[x],{x,0,6200},PlotRange -> {0,50}, GridLines ->Automatic]
grelastdeel=ParametricPlot[{ffdeel[x],elastdeel[x]}, {x,0,6200},PlotRange
-> {0,10}, GridLines ->Automatic]
    
```

A.3 Disposiciones al pago en el Valle del Ebro por cultivos y zonas (en ptas./m<sup>3</sup>)

HORTALIZAS Y TUBÉRCULOS

	Aragón	Lérida	Navarra	Rioja	Tarragona
Acelga	8,96	13,42	11,74	16,22	12,27
Ajo	27,54	32,44	24,94	29,49	34,67
Alcachofa	3,81	8,93	8,02	8,78	9,60
Cebolla	8,38	9,57	10,11	10,10	6,44
Col	10,12	11,91	5,03	10,43	13,17
Coliflor	8,49	6,83	4,96	9,81	10,78
Escarola	10,38	18,63	24,99	18,29	17,74
Espárrago	10,14	14,04	9,99	9,00	11,75
Guisantes	5,46	9,12	4,14	6,65	9,49
Judías	26,39	39,35	21,96	41,01	50,46
Lechuga	5,91	14,35	11,28	11,00	13,09
Melón	9,29	12,87	14,94	14,88	10,71
Patata	5,25	5,31	3,77	7,02	3,01
Pimiento	17,01	16,84	9,98	14,16	20,69
Tomate	30,02	20,87	31,83	23,73	23,68

## FRUTALES

	Aragón	Lérida	Navarra	Rioja	Tarragona
Cerezo	7,06	12,66	6,25	6,44	4,06
Ciruelo	5,75	7,77	4,89	0,79	2,51
Manzano	18,97	17,53	22,18	8,30	10,45
Melocotón	14,27	11,87	12,12	9,58	4,24
Peral	12,03	11,85	13,60	7,14	5,76

## CULTIVOS INDUSTRIALES

	Aragón	Lérida	Navarra	Rioja	Tarragona
Alfalfa	13,20	13,99	11,97	10,96	11,33
Colza	0,30	0,00		0,00	
Girasol	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00
Veza	6,88	8,82	4,12	4,12	5,35

## CEREALES

	Aragón	Lérida	Navarra	Rioja	Tarragona
Arroz	2,47	1,49	1,59		1,82
Avena	1,39	0,39		0,11	0,00
Cebada	2,37	1,62	0,76	0,87	1,20
Centeno	0,06			0,23	0,00
Maíz	2,45	2,02	2,01	1,80	1,45
Trigo	2,94	2,56	1,61	2,12	2,29

## RESTO CULTIVOS

	Aragón	Lérida	Navarra	Rioja	Tarragona
Almendro	0,56	1,42	0,00	0,00	0,00
Olivo	0,17	0,54	0,00	0,00	0,08
Viña	7,58	6,61	4,33	3,54	6,16

#### A.4 Ordenación parcial de los productos, según capacidad de pago en el Valle del Ebro

Como precio típico de un cultivo en el Valle, entre los precios pagados en las cinco regiones, se ha seleccionado el intermedio en la ordenación de mayor a menor (en los casos en que se cultiva sólo en un número par de regiones, se toma el que ocupa la posición intermedia superior). El precio máximo es el más alto pagado para ese cultivo. Los precios son ptas./m<sup>3</sup>.

	Zona	Cultivo	Precio típico	Zona	Cultivo	Precio máximo
Tramo 1	<i>Lérida</i>	<i>judías</i>	39,35	<i>Tarragona</i>	<i>judías</i>	50,46
	<i>La Rioja</i>	<i>ajo</i>	29,49	<i>Tarragona</i>	<i>ajo</i>	34,67
	<i>La Rioja</i>	<i>tomate</i>	23,73	<i>Navarra</i>	<i>tomate</i>	31,83
				<i>Navarra</i>	<i>escarola</i>	24,99
				<i>Navarra</i>	<i>manzano</i>	22,18
				<i>Tarragona</i>	<i>pimiento</i>	20,69
Tramo 2	<i>La Rioja</i>	<i>escarola</i>	18,29	<i>La Rioja</i>	<i>acelga</i>	16,22
	<i>Lérida</i>	<i>manzano</i>	17,53	<i>Navarra</i>	<i>melón</i>	14,94
	<i>Lérida</i>	<i>pimiento</i>	16,84	<i>Lérida</i>	<i>lechuga</i>	14,35
Tramo 3	<i>Lérida</i>	<i>melón</i>	12,87	<i>Aragón</i>	<i>melocotón</i>	14,27
	<i>Tarragona</i>	<i>acelga</i>	12,27	<i>Lérida</i>	<i>espárrago</i>	14,04
	<i>Navarra</i>	<i>alfalfa</i>	11,97	<i>Lérida</i>	<i>alfalfa</i>	13,99
	<i>Lérida</i>	<i>melocotón</i>	11,87	<i>Navarra</i>	<i>peral</i>	13,60
	<i>Lérida</i>	<i>peral</i>	11,85	<i>Tarragona</i>	<i>col</i>	13,17
				<i>Lérida</i>	<i>cerezo</i>	12,66
Tramo 4	<i>Navarra</i>	<i>lechuga</i>	11,28	<i>Tarragona</i>	<i>coliflor</i>	10,78
	<i>La Rioja</i>	<i>col</i>	10,43	<i>Navarra</i>	<i>cebolla</i>	10,11
	<i>Aragón</i>	<i>espárrago</i>	10,14	<i>Tarragona</i>	<i>alcachofa</i>	9,60
	<i>Lérida</i>	<i>cebolla</i>	9,57	<i>Tarragona</i>	<i>guisantes</i>	9,49
	<i>La Rioja</i>	<i>alcachofa</i>	8,78	<i>Lérida</i>	<i>veza</i>	8,82
	<i>Aragón</i>	<i>coliflor</i>	8,49	<i>Lérida</i>	<i>ciruelo</i>	7,77
	<i>La Rioja</i>	<i>guisantes</i>	6,65	<i>Aragón</i>	<i>viña</i>	7,58
	<i>La Rioja</i>	<i>cerezo</i>	6,44	<i>La Rioja</i>	<i>patata</i>	7,02
	<i>Tarragona</i>	<i>viña</i>	6,16			

	Zona	Cultivo	Precio típico	Zona	Cultivo	Precio máximo
	<i>Tarragona</i>	<i>veza</i>	5,35			
	<i>Aragón</i>	<i>patata</i>	5,25			
	<i>Navarra</i>	<i>ciruelo</i>	4,89			
Tramo 5	<i>Tarragona</i>	<i>trigo</i>	2,29	<i>Aragón</i>	<i>trigo</i>	2,94
	<i>Navarra</i>	<i>maíz</i>	2,01	<i>Aragón</i>	<i>arroz</i>	2,47
	<i>Tarragona</i>	<i>arroz</i>	1,82	<i>Aragón</i>	<i>maíz</i>	2,45
				<i>Aragón</i>	<i>cebada</i>	2,37
Tramo 6	<i>Tarragona</i>	<i>cebada</i>	1,20	<i>Lérida</i>	<i>almendro</i>	1,42
	<i>Lérida</i>	<i>avena</i>	0,39	<i>Aragón</i>	<i>avena</i>	1,39
				<i>Lérida</i>	<i>olivo</i>	0,54
				<i>Aragón</i>	<i>colza</i>	0,30
				<i>La Rioja</i>	<i>centeno</i>	0,23
Tramo 7	<i>Tarragona</i>	<i>olivo</i>	0,08	<i>Aragón</i>	<i>girasol</i>	0,17
	<i>Aragón</i>	<i>centeno</i>	0,06			
	<i>La Rioja</i>	<i>girasol</i>	0,00			
	<i>Navarra</i>	<i>almendro</i>	0,00			
	<i>Lérida</i>	<i>colza</i>	0,00			

*A.5 Teorema sobre el método de hacer continua una curva de demanda en escalera*

Definamos una función de demanda  $D: (0, q_n] \rightarrow \mathbb{R}$ , tipo escalera con tramos abiertos inferiormente, decreciente y definida por los puntos  $\{(q_1, p_1), \dots, (q_n, p_n)\}$ . Diremos que una función continua  $F: [0, q_n] \rightarrow \mathbb{R}$  es un ajuste lineal continuo de  $D$  si:

- 1)  $F|_{[q_{i-1}, q_i]}$  es una función lineal para  $\forall i \in \{1, 2, \dots, n\}$ , siendo  $q_0 = 0$ ;
- 2)  $\forall (q_{i-1}, q_i], p_i \in F([q_{i-1}, q_i])$
- 3)  $F'(q) \leq 0, \forall q \in (q_{i-1}, q_i)$
- 4)  $F(q_n) = 0$ .

Esta función continua puede caracterizarse por los pares  $\{(0, \bar{p}_0), \dots, (q_i, \bar{p}_i), \dots, (q_n, \bar{p}_n)\}$ , siendo  $\bar{p}_i = F(q_i)$ . Para cada par es posible definir

$$e_i^F = p_i (q_i - q_{i-1}) - (\bar{p}_i + \bar{p}_{i-1}) (q_i - q_{i-1}) / 2, i = 1, 2, \dots, n; \text{ y } E = \sum_n^{i=1} |e_i^F|.$$

Observemos que  $e_i^F$  es la diferencia, para cada tramo  $i$ , entre los excedentes del demandante a precio nulo de la nueva función  $F(q)$  y los de la función en escalera  $D(q)$ . La suma de esas diferencias en valor absoluto es  $E$ .

Teorema.- El proceso iterativo definido por los criterios

- i)  $\bar{p}_n = 0$ ;
- ii) si  $2 p_i - \bar{p}_i \leq p_{i-1}, \bar{p}_{i-1} = 2 p_i - \bar{p}_i$ ;
- iii) si  $2 p_i - \bar{p}_i > p_{i-1}, \bar{p}_{i-1} = p_{i-1}$ ,

determina pares  $(q_i, \bar{p}_i)$  que verifican las siguientes propiedades

a) La función continua definida por los tramos lineales que tienen a esos pares como extremos es un ajuste lineal continuo de  $D$ .

b) Si  $\{(p_{i-1} - p_i)\}_{i=1, \dots, n-1}$  es decreciente ( $\equiv p_{i-1} - p_i \geq p_i - p_{i+1}, \forall i = 1, \dots, n-1$ ), suponemos  $p_0 = \infty$ , el ajuste pasa por los puntos medios de cada tramo. Además

$$e_i^F = 0, \forall i, \text{ y } E = 0.$$

c) Cada paso del proceso iterativo, suponiendo que los precios anteriores no cambian, minimiza el valor absoluto del  $e_i^F$ .

Demostración.

a) Como las condiciones 1, 2 y 4 del ajuste lineal continuo se verifican, solo nos queda por comprobar que las pendientes  $m_i$  de los distintos tramos lineales son no positivas. Por construcción siempre se verifica  $\bar{p}_i \leq p_i$ . Además  $p_i \leq \bar{p}_{i-1}$  porque  $\bar{p}_{i-1} = p_{i-1} \geq p_i$  o bien  $\bar{p}_{i-1} = p_i + (p_i - \bar{p}_i) \geq p_i$ .

$$\text{En consecuencia } m_i = \frac{\bar{p}_i - \bar{p}_{i-1}}{q_i - q_{i-1}} \leq 0.$$

b) Como  $2 p_i - \bar{p}_i = p_i + (p_i - \bar{p}_i) \leq p_i + (p_i - p_{i+1}) \leq p_i + p_{i-1} - p_i = p_{i-1}$ , siempre se verifica  $\bar{p}_{i-1} = 2 p_i - \bar{p}_i$ , luego el tramo lineal pasa por el punto medio,  $e_i^F = 0, \forall i$ , y  $E = 0$

c) Si  $2 p_i - \bar{p}_i \leq p_{i-1}$ , se verifica  $\bar{p}_{i-1} = 2 p_i - \bar{p}_i$  y  $e_i^F = 0$ , siendo  $|e_i^F|$  mínimo. Si  $2 p_i - \bar{p}_i > p_{i-1}$  y  $\bar{p}_{i-1} > p_{i-1}$ , la condición 2 y la 3 del ajuste lineal no pueden verificarse conjuntamente. Si  $2 p_i - \bar{p}_i > p_{i-1}$  y  $\bar{p}_{i-1} \leq p_{i-1}$ , tenemos que  $e_i^F < 0$  y mayor en



valor absoluto cuanto menor sea  $\bar{p}_{i-1}$ . En consecuencia,  $|e_i^F|$  es mínimo cuando  $\bar{p}_{i-1} = p_{i-1}$ , la condición usada en el proceso iterativo.



#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera Klink, F. (1999): "Hacia una nueva economía del agua: cuestiones fundamentales", en P. Arrojo y F. Martínez (ed.) (1999): *El agua a debate en la Universidad*. Zaragoza: Institución Fernando El Católico (CSIC).
- Bielsa, J. (1998): *Modelización de la gestión integrada del agua en el territorio: magnitudes asociadas desde una perspectiva económica*. Tesis doctoral. Universidad de Zaragoza.
- Diaz-Marta, M. (1999): "Evolución de las políticas hidráulicas españolas desde la Ilustración hasta nuestros días", en P. Arrojo y F. Martínez (ed.) (1999): *El agua a debate en la Universidad*. Zaragoza: Institución Fernando El Católico (CSIC).
- Ibercaja (1995): *Estructura productiva de la economía aragonesa. Tablas input-output 1992*. Zaragoza.
- MAPA (1994): *Anuario de Estadística Agraria, 1992*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Secretaría General Técnica.
- Naredo, J.M., J.M. Gascó (1994): *Spanish Water Accounting*. París: OCDE ENV/ EPOC/ SE/ A(94).
- Omedas, J.M. (1994): *El agua en el desarrollo económico, social y medioambiental de Aragón*. Zaragoza. IBERCAJA.
- Sánchez Chóliz, J. (1998): *Aproximación al balance de gastos e ingresos del Estado y las Instituciones públicas en una gran inversión en regadío*. Zaragoza: Confederación Hidrográfica del Ebro.
- Sánchez Chóliz, J., J. Bielsa (1999): "Salinity And The Supply Of Water: The Case Of The Mid-Ebro Valley", en N. Goergantzis (ed.): *Spatial Economics and Ecosystems*. Southampton: Computational Mechanics Publications.
- Sumpsi, J.M. (1994): "Régimen económico financiero del agua y la agricultura", *Revista de estudios Agrosociales* 167, págs. 59-88.
- Sumpsi, J.M., A. Garrido, M. Blanco, C. Varela y E. Iglesias (1998): *Economía y política de gestión del agua en la agricultura*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y alimentación y Ediciones Mundi-Prensa.
- Tabuenca, J.M. (1994): *Curso de Gestión de aprovechamiento de agua para riego*. Zaragoza. DGA.
- Young, R.A. (1996): *Measuring Economic Benefits for Water Investments and Policies*, World Bank Technical Paper 338, Washington DC.

Fecha de recepción del original: junio, 1998

Versión final: octubre, 1999

ABSTRACT

Agriculture is the main consumer of water in the Ebro Valley. The excessive pressure suffered by this resource, together with the need to rationalise its use, makes it vital that we have a knowledge of the demand curves for water on the part of agriculture, as well as their elasticities. The objective of this paper is to construct these curves, both for the Ebro Valley as a whole, as well as for five of its regions, using the economic rent obtained from the use of irrigation as a starting point.

The results demonstrate the presence of seven differentiated pieces in the demand curves. Similarly, they show the existence of significant differences between the regions and the need for the urgent modernization of the irrigated areas that are associated with around the 50% of the total consumption.

*Keywords:* water demand, economic rent, elasticity, irrigation, use efficiency.

*JEL classification:* Q21.